

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-101496

(43)Date of publication of application : 21.04.1998

(51)Int.Cl. C30B 29/38  
C30B 23/08  
C30B 25/02  
// H01S 3/18

(21)Application number : 08-258054

(71)Applicant : KAGAKU GIJUTSU SHINKO  
JIGYODAN

(22)Date of filing : 30.09.1996

(72)Inventor : YOSHIDA HIROSHI

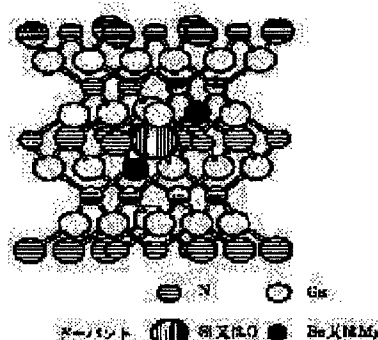
## (54) PRODUCTION OF LOW RESISTANT P-TYPE GALLIUM NITRIDE CRYSTAL

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a method for producing a low resistant p-type Gallium nitride crystal, enabling to obtain the p-type GaN crystal doped in a high concentration of  $10^{19}$  to  $10^{20}\text{cm}^{-3}$ .

**SOLUTION:** This method for producing a low resistant p-type GaN crystal comprises raising the GaN crystal by a MBE method. Therein,  $\text{N}_2$  is decomposed with electromagnetic waves, and Si vapor or atomic O is generated. An atomic mixture gas prepared in a Mg:Si ratio of 2:1, a Mg:O ratio of 2:1, a Be:Si ratio of 2:1 or a Be:O ratio of 2:1 is introduced into a region for raising the crystal. The atomic mixture gas is prepared by decomposing the organic metal gases of Ga, Mg and Be with electromagnetic waves RF in a MOCVD method.

When Si or O and Mg or Be is simultaneously doped in a ratio of 1:2, an n-type dopant Si or O and a p-type dopant Mg or Be occupying a Ga position and a N position form a 1:1 pair, and a Mg or Be atom is further disposed around the atomic pair, and acts as an acceptor. The acceptor is consequently activated up to a high concentration, and the p-type dopant Mg or Be can be doped up to a high concentration.



\* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1]When growing up a GaN crystal by MBE technique or the MOCVD method, atom-like mixed gas prepared to Si:Mg=1:2, O:Mg=1:2, Si:Be=1:2, or O:Be=1:2 is introduced into a crystal growth region, A manufacturing method of a low resistance p type GaN crystal carrying out simultaneous doping of Si or the O to Mg or Be.

[Claim 2]Evaporate a metal simple substance in oven heating, and a molecular beam of Mg or Be is made, A manufacturing method of the low resistance p type GaN crystal according to claim 1 which disassembles Si or a molecule gaseous raw material of O by electromagnetic waves, considers it as atom-like gas, and prepares atom-like mixed gas by a ratio of Si:Mg=1:2, O:Mg=1:2, Si:Be=1:2, or O:Be=1:2.

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application]This invention relates to the method of manufacturing the p type GaN crystal of low resistance useful as materials, such as blue laser and a blue light element.

[0002]

[Description of the Prior Art]Since the band gap supports a blue light, GaN attracts attention as materials, such as blue laser and a blue light element. The GaN crystal is raised by the molecular beam epitaxy (MBE) method. In an MBE technique, the metallic element Ga is evaporated in a super-vacuum, electromagnetic wave RF decomposes an  $N_2$  molecule (gas), and crystal growth is carried out, obtaining the molecular beam intensity proportional to the steam pressure of Ga vapor and atom-like  $N^+$  gas, and carrying out atomic layer control. In order to use GaN as a p type, Mg or Be is doped in the crystal growth of GaN. In doping of Mg or Be, heating evaporation of Mg or the metal simple substance of Be was carried out, and it has doped as an atom-like beam.

[0003]

[Problem(s) to be Solved by the Invention]In the conventional method, since it had doped a Mg independent in the crystal growth of GaN, only the  $10^{18}cm^{-3}$  grade has been doped. Even if it was going to dope Mg, a compensation mechanism was not able to increase carrier concentration any more. That is, if Mg concentration exceeds  $10^{18}cm^{-3}$ , Mg atom included in Ga position will move to an interstitial site, and will serve as a n type (donor) in connection with it. As a result, Mg of the interstitial site which is a n type (donor) offsets p type (acceptor) Mg. This is also the same as when raising a p type GaN crystal by the MOCVD method. By thinking out this invention that such a problem should be solved and doping simultaneously Mg or Be which is Si, and O and the p type dopant which are n type dopants, It aims at GaN single crystal production of the low resistance doped to the high concentration of  $10^{19} - 10^{20}cm^{-3}$ .

[0004]

[Means for Solving the Problem]In order that a manufacturing method of a GaN crystal according to this invention may attain the purpose, When growing up a GaN crystal by MBE technique or the MOCVD method, atom-like mixed gas prepared to Si:Mg=1:2, O:Mg=1:2, Si:Be=1:2, or O:Be=1:2 is introduced into a crystal growth region, and simultaneous doping of Si or the O is carried out to Mg or Be. Atom-like mixed gas prepared to Si:Mg=1:2, O:Mg=1:2, Si:Be=1:2, or O:Be=1:2, Mg or a metal simple substance of Be is evaporated in oven heating, and a molecular beam is made, and Si or a molecule gaseous raw material of O is disassembled by electromagnetic waves, and it is considered as atom-like gas, and is prepared by mixing both.

[0005]

[Function]When doping simultaneously Mg or Be which is Si or O which is a n type dopant, and a p type dopant at a rate of 1:2, The acceptor ( $Mg^+_{Ga}$  or  $Be^+_{Ga}$ ) resulting from Mg or Be which replaced the donor ( $Si^-_{Ga}$  or  $O^-_N$ ) resulting from O which replaced Si which replaced Ga position, or N position, and Ga position makes a pair, Stabilization by electrostatic energy (pair of

+e and -e) occurs. Mg or Be which was added further and doped with this electrostatic energy is more stable. As a result, a p type carrier (electron hole) can be doped to GaN which can dope only a  $10^{18}\text{cm}^{-3}$  grade in Mg or a Be independent to the high concentration of  $10^{19} - 10^{20}\text{cm}^{-3}$ . this invention person guessed as follows the mechanism from which simultaneous doping with Si, O and Mg, or Be raises p type carrier concentration. That is, when carrying out simultaneous doping of Si, O and Mg, or the Be at a rate of 1:2, as shown in the model of drawing 1, Si which is a n type donor occupies Ga position, and O which is a n type donor occupies N position. On the other hand, Mg or Be which is a p type acceptor occupies Ga position. And Mg or Be which is Si or O which is a n type dopant, and a p type dopant forms the pair of 1:1, one more Mg or Be atom configures around this atomic pair, and it works as an acceptor. As a result, an acceptor is activated to high concentration and it becomes possible to make Mg or Be of a p type dopant dope to high concentration.

[0006]

[Embodiment of the Invention]When growing up a GaN crystal by an MBE technique, as shown in drawing 2, the substrate 2 is set to the vacuum chamber 1, and the substrate 2 is made to face the source 3 of Ga and Si, or the source 4 of O. The source 3 of Ga is heated with the heater 5, serves as Ga vapor, and is sent to the substrate 2. In the source of N,  $\text{N}_2$  gas is irradiated with the electromagnetic waves generated with RF coil 7, and the  $\text{N}^+$  gas which became atom-like is sent into crystal growth space. Ga vapor and atom-like  $\text{N}^+$  gas grow epitaxially as the GaN crystal 6 on the substrate 2. At this time, Mg or the source 8 of Be is heated with the heater 5, serves as a steam of Mg or Be, and is sent to the substrate 2, and p type doping is carried out. Simultaneously, it is decomposed by electromagnetic wave RF7, and O or a Si source serves as atom-like gas, and is sent to the substrate 2, and n type doping is carried out. And when adjusting the flow of Mg or Be steam and Si steam, or atom-like  $\text{O}^+$  gas so that an atomic ratio with Mg or Be steam, Si steam, or atom-like  $\text{O}^+$  gas may be set to 2:1, the GaN crystal 6 which grows on the substrate 2 turns into Mg or a p type crystal which carried out Be doping at high concentration.

[0007]In the MOCVD method, as shown in drawing 3, electromagnetic wave RF decomposes Ga content organic metal gas source  $g_1$ , Mg, or Be content organic metal gas source  $g_2$  and  $\text{N}_2$  gas source  $g_3$  and Si, or O content organic metal gas source  $g_4$ . An atom-like beam is made and it is made to grow epitaxially as the GaN crystal 6 on the substrate 2. Also in this case, when adjusting the flow of Mg or Be steam and Si steam, or atom-like  $\text{O}^+$  gas so that an atomic ratio with Mg, Be steam and Si, or atom-like  $\text{O}^+$  gas may be set to 2:1, the GaN crystal 6 which grows on the substrate 2 turns into Mg or a p type crystal which carried out Be doping at high concentration.

[0008]Thus, Mg or Be introduced into the GaN crystal replaces Ga position, and works as a p type acceptor ( $\text{Mg}_{\text{Ga}}^+$  or  $\text{Be}_{\text{Ga}}^+$ ). On the other hand, Si replaces Ga position and works as a n type donor ( $\text{Si}_{\text{Ga}}^-$ ). O replaces N position and works as a n type donor ( $\text{O}_{\text{N}}^-$ ). If Mg, Be and Si, or O is doped by 1:1, an acceptor and a donor electrified in + and - will make a pair, and electrostatic energy will be stable. If 1more Mg is newly added to the GaN crystal stable in this way, Ga position can be stably replaced by Mg or Be, and it will become possible to dope Mg or Be to high concentration. Although the electronic state density (DOS) of Mg or Be which replaced Ga position in GaN by drawing 4 (a) was shown, it turns out that Mg works as a p type acceptor. It turns out that Si, Si from DOS of O, or O which replaced Ga position in GaN by drawing 4 (b) works as a n type donor. By carrying out simultaneous doping of these, it is clear to stabilize electrostatic energy.

[0009]

[Example]The GaN single crystal was set to the vacuum chamber 1 maintained by the degree-of-vacuum  $10^{-10}$  toll as the substrate 2 for GaN crystal growth. The GaN crystal was grown epitaxially at 250-400 \*\*, being a flow  $10^{-6}$  toll about Ga vapor, and passing [ atom-like  $\text{N}^+$  ] Si

steam for Mg or Be steam on the substrate 2 by a flow  $2 \times 10^{-1}$  toll by a flow  $10^{-6}$  toll at a flow  $10^{-10}$  toll. Atom-like  $N^+$  gas was prepared by irradiating  $N_2$  gas with the electromagnetic waves of a microwave range. As the obtained GaN crystal was shown in Table 1, acceptor concentration differed according to crystal growth temperature. However, as compared with the case where Mg or a Be independent are doped, any crystal growth temperature showed high doping concentration, without sending in Si steam.

[0010]

表1：Mg又はBeとSiとの同時ドーピングがアクセプター濃度に及ぼす影響

基板温度 (°C)	アクセプター濃度 (個/cm <sup>3</sup> )	
	Mg, Siの同時ドーピング	Mgの単独ドーピング
250	$5.3 \times 10^{17}$	$1.2 \times 10^{17}$
300	$8.2 \times 10^{17}$	$2.1 \times 10^{17}$
350	$1.2 \times 10^{18}$	$3.2 \times 10^{17}$
400	$8.2 \times 10^{18}$	$1.1 \times 10^{18}$
	Be, Siの同時ドーピング	Beの単独ドーピング
250	$5.2 \times 10^{17}$	$1.2 \times 10^{17}$
300	$8.6 \times 10^{17}$	$2.1 \times 10^{17}$
350	$1.2 \times 10^{18}$	$3.5 \times 10^{17}$
400	$9.5 \times 10^{18}$	$1.0 \times 10^{18}$

[0011]When it changed to Si and simultaneous doping of the O was carried out to Mg or Be, the p type carrier was similarly doped by high concentration. When simultaneous doping of Si, O and Mg, or the Be was carried out by the MOCVD method, the p type carrier was able to be similarly doped to the high concentration of  $10^{19} - 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ .

[0012]

[Effect of the Invention]As explained above, in this invention, the n type dopants Si and O or p type dopant Mg, or Be is doped simultaneously.

Therefore, it becomes possible to dope GaN doped only to the  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$  grade in the former by a p type carrier to the high concentration of  $10^{19} - 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ .

Thus, since melted Mg or Be atom is almost altogether activated as an acceptor, the p type GaN crystal of the obtained low resistance shows high p type electrical conductivity, and presents the outstanding electrical property. Therefore, it is used for a high-density light memory memory, a full color display, etc. as materials, such as powerful blue laser and a blue light element.

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1]The model of the GaN crystal which carried out simultaneous doping of Si, O and Mg, or the Be

[Drawing 2]A device used by the MEB method for growing up a GaN crystal

[Drawing 3]A device used by the MOCVD method for growing up a GaN crystal

[Drawing 4]Electronic state density which showed that Mg or Be which replaced Ga position worked as an acceptor (p type), and O which replaced Si which replaced Ga position, or N position worked as a donor (n type)

[Description of Notations]

1: source [ ] of vacuum chamber 2:board 3:Ga — 4:Si or source [ of O ] 5:heater 6:GaN crystal 7: — RF coil [ ] — 8:Mg or the source of Be

$g_1$ :Ga content organic metal gas source  $g_2$ :Mg or Be content organic metal gas source

$g_3$ :N<sub>2</sub> gas source  $g_4$ :Si or O content organic metal gas source

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

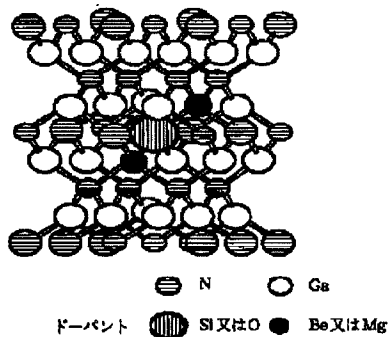
JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

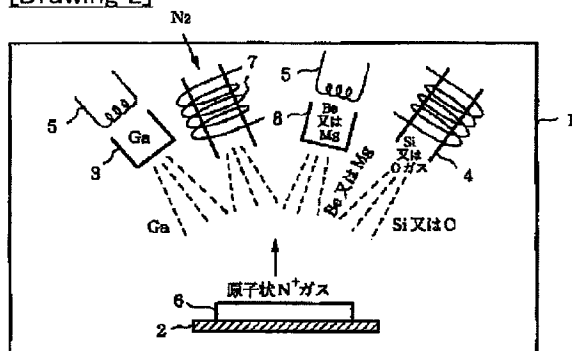
## DRAWINGS

[Drawing 1]

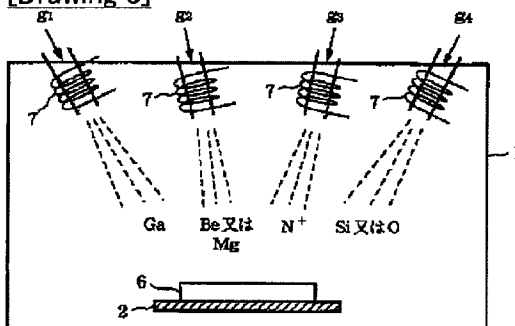
Be又はMgとSi又はOを同時ドーピングしたGaN結晶



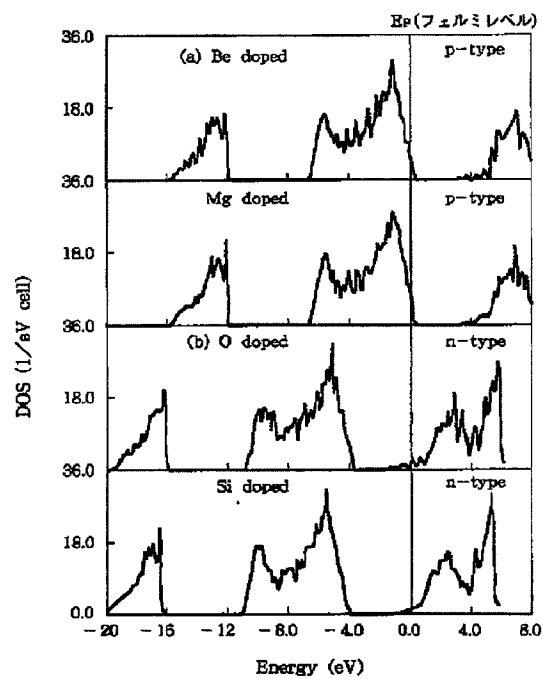
[Drawing 2]



[Drawing 3]



[Drawing 4]



---

[Translation done.]



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-101496

(43) 公開日 平成10年(1998) 4月21日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

C 3 0 B 29/38

C 3 0 B 29/38

D

23/08

23/08

M

25/02

25/02

Z

// H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数2 O L (全 5 頁)

(21) 出願番号

特願平8-258054

(71) 出願人 396020800

科学技術振興事業団

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(22) 出願日

平成8年(1996) 9月30日

(72) 発明者 吉田 博

兵庫県川西市大和東2丁目82番4号

(74) 代理人 弁理士 小倉 亘

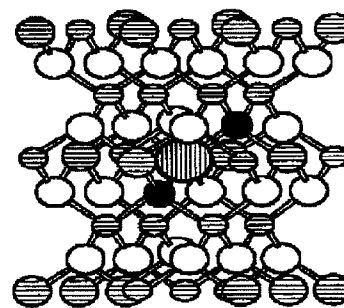
(54) 【発明の名称】 低抵抗p型GaN結晶の製造方法

(57) 【要約】

【課題】  $10^{18} \sim 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  の高濃度にドーピングしたp型GaN結晶を得る。

【解決手段】 MBE法でGa<sub>2</sub>N結晶を成長させる際、N<sub>2</sub>ガスを電磁波で分解すると共にSi蒸気又は原子状Oを発生させ、Mg:Si=2:1, Mg:O=2:1, Be:Si=2:1又はBe:O=2:1に調製した原子状混合ガスを結晶成長域に導入する。原子状混合ガスは、MOCVD法ではGa, Mg, Beの有機金属ガスを電磁波RFで分解することにより調製される。

【効果】 Si又はOとMg又はBeを1:2の割合で同時ドーピングするとき、Ga位置及びN位置を占めるn型ドーパントSi又はOとp型ドーパントMg又はBeが1:1の対を形成し、この原子対の周りに更に1個のMg又はBe原子が配位し、アクセプターとして働く。その結果、高濃度までアクセプターが活性化し、p型ドーパントMg又はBeを高濃度までドーピングできる。

Be又はMgとSi又はOを同時ドーピングしたGa<sub>2</sub>N結晶

○ N ○ Ga

ドーパント 〰 Si又はO ● Be又はMg

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 MBE法又はMOCVD法でGaN結晶を成長させる際、Si:Mg=1:2、O:Mg=1:2、Si:Be=1:2又はO:Be=1:2に調製した原子状混合ガスを結晶成長域に導入し、Si又はOをMg又はBeと同時にドーピングすることを特徴とする低抵抗p型GaN結晶の製造方法。

【請求項2】 金属単体をオープン加熱で蒸発させてMg又はBeの分子ビームを作り、Si又はOの分子ガス原料を電磁波で分解して原子状のガスとし、Si:Mg=1:2、O:Mg=1:2、Si:Be=1:2又はO:Be=1:2の比率で原子状混合ガスを調製する請求項1記載の低抵抗p型GaN結晶の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、青色レーザ、青色発光素子等の材料として有用な低抵抗のp型GaN結晶を製造する方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】GaNは、バンドギャップが青色の光に対応していることから、青色レーザ、青色発光素子等の材料として注目されている。GaN結晶は、モレキュラー・ビーム・エピタキシ(MBE)法で育成されている。MBE法では、超真空中で金属元素Gaを蒸発させ、N<sub>2</sub>分子(ガス)を電磁波RFで分解し、Ga蒸気及び原子状N<sup>+</sup>ガスの蒸気圧に比例した分子線強度を得、原子層制御しながら結晶成長させている。GaNをp型にするためには、GaNの結晶成長中にMg又はBeをドーピングしている。Mg又はBeのドーピングでは、Mg又はBeの金属単体を加熱蒸発させ、原子状ビームとしてドーピングしている。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】従来の方法では、GaNの結晶成長中にMg単独をドーピングしているため、 $10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度しかドーピングできなかった。更にMgをドーピングしようとしても、補償機構によってキャリア濃度をこれ以上増やすことはできなかった。すなわち、Mg濃度が $10^{18} \text{ cm}^{-3}$ を超えると、Ga位置に入っていたMg原子が格子間位置に移り、それに伴ってn型(ドナー)となる。その結果、p型(アクセプター)のMgをn型(ドナー)である格子間位置のMgが相殺する。これは、MOCVD法でp型GaN結晶を育成するときも同様である。本発明は、このような問題を解消すべく案出されたものであり、n型ドーパントであるSiやOとp型ドーパントであるMg又はBeを同時にドーピングすることにより、 $10^{19} \sim 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の高濃度にドーピングした低抵抗のGaN単結晶作製を目的とする。

## 【0004】

【課題を解決するための手段】本発明に従ったGaN結

晶の製造方法は、その目的を達成するため、MBE法又はMOCVD法でGaN結晶を成長させる際、Si:Mg=1:2、O:Mg=1:2、Si:Be=1:2又はO:Be=1:2に調製した原子状混合ガスを結晶成長域に導入し、Si又はOをMg又はBeと同時にドーピングすることを特徴とする。Si:Mg=1:2、O:Mg=1:2、Si:Be=1:2又はO:Be=1:2に調製した原子状混合ガスは、Mg又はBeの金属単体をオープン加熱で蒸発させて分子ビームを作り、Si又はOの分子ガス原料を電磁波で分解して原子状のガスとし、両者を混合することにより調製される。

## 【0005】

【作用】n型ドーパントであるSi又はOとp型ドーパントであるMg又はBeを1:2の割合で同時にドーピングするとき、Ga位置を置換したSi又はN位置を置換したOに起因するドナー(Si<sup>-</sup>又はO<sup>-</sup>)とGa位置を置換したMg又はBeに起因するアクセプター(Mg<sup>+</sup>又はBe<sup>+</sup>)が対を作り、静電エネルギー(+eと-eの対)による安定化が発生する。この静電エネルギーにより、更に付け加えてドーパしたMg又はBeがより安定化する。その結果、Mg又はBe単独では $10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度しかドーピングできないGaNに対し、 $10^{19} \sim 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の高濃度にp型キャリア(正孔)をドーピングすることができる。Si又はOとMg又はBeとの同時ドーピングがp型キャリア濃度を上げるメカニズムを、本発明者は次のように推察した。すなわち、Si又はOとMg又はBeを1:2の割合で同時ドーピングするとき、図1のモデルに示すように、n型ドナーであるSiがGa位置を占め、n型ドナーであるOはN位置を占める。他方、p型アクセプターであるMg又はBeは、Ga位置を占める。そして、n型ドーパントであるSi又はOとp型ドーパントであるMg又はBeが1:1の対を形成し、この原子対の周りに更に1個のMg又はBe原子が配位し、アクセプターとして働く。その結果、高濃度までアクセプターが活性化し、p型ドーパントのMg又はBeを高濃度までドーピングさせることが可能となる。

## 【0006】

【実施の形態】MBE法でGaN結晶を成長させる際には、図2に示すように真空チャンバ1に基板2をセットし、基板2にGa源3及びSi又はO源4を臨ませる。Ga源3は、ヒータ5で加熱され、Ga蒸気となって基板2に送られる。N源では、RFコイル7で発生した電磁波をN<sub>2</sub>ガスに照射し、原子状になったN<sup>+</sup>ガスを結晶成長空間に送り込む。Ga蒸気及び原子状N<sup>+</sup>ガスは、基板2上でGaN結晶6としてエピタキシャル成長する。このとき、Mg又はBe源8は、ヒータ5で加熱され、Mg又はBeの蒸気となって基板2に送られ、p型ドーピングする。同時に、O又はSi源は、電磁波RFで分解されて原子状のガスとなって基板2に送ら

れ、n型ドーピングする。そして、Mg又はBe蒸気とSi蒸気又は原子状O<sup>+</sup>ガスとの原子比が2:1となるように、Mg又はBe蒸気及びSi蒸気又は原子状O<sup>+</sup>ガスの流量を調整するとき、基板2上に成長するGaN結晶6は、高濃度でMg又はBeドーピングしたp型結晶となる。

【0007】MOCVD法では、図3に示すようにGa含有有機金属ガス源g<sub>1</sub>、Mg又はBe含有有機金属ガス源g<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>ガス源g<sub>3</sub>及びSi又はO含有有機金属ガス源g<sub>4</sub>を電磁波RFで分解し、原子状ビームを作り、基板2上でGaN結晶6としてエピタキシャル成長させる。この場合にも、Mg又はBe蒸気とSi又は原子状O<sup>+</sup>ガスとの原子比が2:1となるように、Mg又はBe蒸気及びSi蒸気又は原子状O<sup>+</sup>ガスの流量を調整するとき、基板2上に成長するGaN結晶6は、高濃度でMg又はBeドーピングしたp型結晶となる。

【0008】このようにGaN結晶に導入されたMg又はBeは、Ga位置を置換し、p型アクセプター(Mg<sup>+</sup><sub>ga</sub>又はBe<sup>+</sup><sub>ga</sub>)として働く。他方、Siは、Ga位置を置換しn型ドナー(Si<sup>-</sup><sub>ga</sub>)として働く。また、Oは、N位置を置換しn型ドナー(O<sup>-</sup><sub>N</sub>)として働く。Mg又はBe及びSi又はOを1:1でドーピングすると、+と-に帯電したアクセプターとドナーが対を作り、静電エネルギーが安定化する。このように安定化したGaN結晶に新たにもう一つMgを付け加えると、安定にG\*

\*a位置をMg又はBeで置換でき、高濃度にMg又はBeをドーピングすることが可能になる。図4(a)でGaN中のGa位置を置換したMg又はBeの電子状態密度(DOS)を示したが、Mgはp型のアクセプターとして働くことが判る。また、図4(b)でGaN中のGa位置を置換したSi又はOのDOSから、Si又はOはn型のドナーとして働くことが判る。これらを同時ドーピングすることにより、静電エネルギーを安定化することが明らかである。

#### 【0009】

【実施例】GaN結晶成長用基板2としてGaN単結晶を、真空度10<sup>-10</sup> トールに維持された真空チャンバ1にセットした。流量10<sup>-6</sup> トールでGa蒸気を、流量10<sup>-6</sup> トールで原子状N<sup>+</sup>を、流量2×10<sup>-1</sup> トールでMg又はBe蒸気を、流量10<sup>-10</sup> トールでSi蒸気を基板2上に流しながら、250～400℃でGaN結晶をエピタキシャル成長させた。なお、原子状N<sup>+</sup>ガスは、N<sub>2</sub>ガスにマイクロ波領域の電磁波を照射することにより調製した。得られたGaN結晶は、表1に示すように結晶成長温度に応じてアクセプター濃度が異なっていた。しかし、Si蒸気を送り込むことなくMg又はBe単独をドーピングした場合に比較して、何れの結晶成長温度でも高いドーピング濃度を示した。

#### 【0010】

表1: Mg又はBeとSiとの同時ドーピングがアクセプター濃度に及ぼす影響

基板温度 (℃)	アクセプター濃度 (個/cm <sup>3</sup> )	
	Mg, Siの同時ドーピング	Mgの単独ドーピング
250	5.3×10 <sup>17</sup>	1.2×10 <sup>17</sup>
300	8.2×10 <sup>17</sup>	2.1×10 <sup>17</sup>
350	1.2×10 <sup>18</sup>	3.2×10 <sup>17</sup>
400	8.2×10 <sup>18</sup>	1.1×10 <sup>18</sup>
	Be, Siの同時ドーピング	Beの単独ドーピング
250	5.2×10 <sup>17</sup>	1.2×10 <sup>17</sup>
300	8.6×10 <sup>17</sup>	2.1×10 <sup>17</sup>
350	1.2×10 <sup>18</sup>	3.5×10 <sup>17</sup>
400	9.5×10 <sup>18</sup>	1.0×10 <sup>18</sup>

【0011】Siに替えてOをMg又はBeと同時ドーピングした場合にも、同様に高濃度にp型キャリアがドーピングされた。また、MOCVD法でSi又はO及びM

g又はBeを同時ドーピングした場合にも、同様に10<sup>19</sup>～10<sup>20</sup> cm<sup>-3</sup>の高濃度にp型キャリアをドーピングすることができた。

## 【0012】

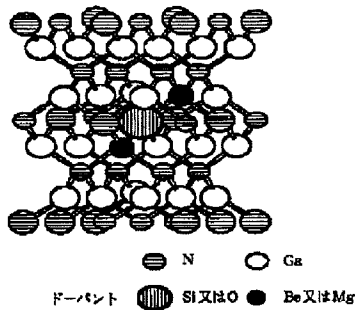
【発明の効果】以上に説明したように、本発明においては、 $n$ 型ドーパントSi又はO及び $p$ 型ドーパントMg又はBeを同時にドーピングすることにより、従来では $10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度までしかドーピングできなかったGa $N$ を $10^{19} \sim 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の高濃度に $p$ 型キャリアでドーピングすることが可能となる。このようにして得られた低抵抗の $p$ 型Ga $N$ 結晶は、溶かし込んだMg又はBe原子がほとんど全てアクセプターとして活性化するため、高い $p$ 型電気伝導度を示し、優れた電気的特性を呈する。そのため、強力な青色レーザ、青色発光素子等の材料として、高密度光記憶メモリー、フルカラーディスプレイ等に使用される。

## 【図面の簡単な説明】

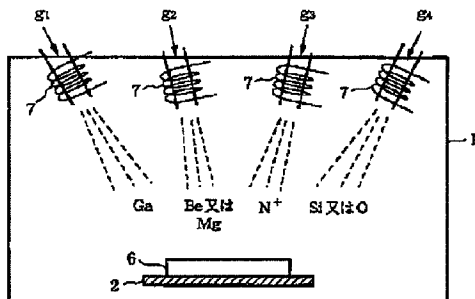
【図1】 Si又はOとMg又はBeを同時ドーピングしたGa $N$ 結晶のモデル

【図1】

Be又はMgとSi又はOを同時ドーピングしたGa $N$ 結晶



【図3】



\* 【図2】 Ga $N$ 結晶を成長させるMEB法で使用する装置

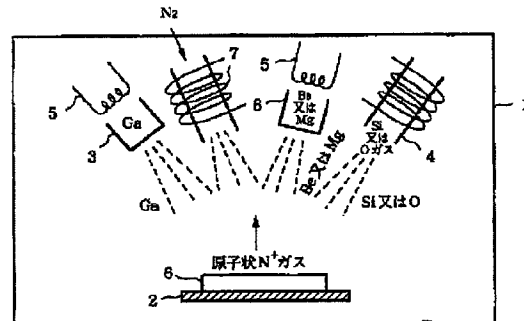
【図3】 Ga $N$ 結晶を成長させるMOCVD法で使用する装置

【図4】 Ga位置を置換したMg又はBeがアクセプター( $p$ 型)として働き、Ga位置を置換したSi又はN位置を置換したOがドナー( $n$ 型)として働くことを示した電子状態密度

## 【符号の説明】

1 : 真空チャンバ    2 : 基板    3 : Ga源    4 : Si又はO源  
5 : ヒータ    6 : Ga $N$ 結晶  
7 : RFコイル    8 : Mg又はBe源  
 $g_1$  : Ga含有有機金属ガス源     $g_2$  : Mg又はBe含有有機金属ガス源  
 $g_3$  :  $N_2$ ガス源     $g_4$  : Si又はO含有有機金属ガス源

【図2】



【図4】

